

高等学校教学用书

鍋爐燃燒过程

下 册

苏联Г. Ф. 克諾烈著

電力工業出版社

高等學校教學用書

T

鍋爐燃燒過程

下 冊

燃燒過程的工藝學

蘇聯Г. Ф. 克諾烈著

馬鏡義 扈維珍譯

蘇聯高等教育部批准作為動力
和機械高等學校及大學動力和機械系教材

電力工業出版社

本書分上下冊出版。下冊包括三四兩篇，共十五章。第三篇敘述各種燃燒方式中的混合作用；第四篇敘述各種燃料在不同的燃燒方法中的特性等。

本書在編寫中注意到使廣大的技術界人士容易理解；本書可供運行工程師、設計師、技術員及大學高年級學生參考。

Г. Ф. КНОРРЕ
ТОПОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1951

鍋爐燃燒過程 下冊
根據蘇聯國立動力出版社1951年莫斯科版翻譯
馬毓文 區維珍譯

439R98

電力工業出版社出版(北京府右街28號)
北京市書刊出版業營業證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092毫米開本 • 45號印張 • 307千字 • 定價(第10類)2.00元

1956年11月北京第1版

1956年11月北京第1次印刷(0001—5,100冊)

目 录

第三篇 混合作用

第十二章 完全燃烧原理, 燃烧过程的共同温度水平	190
12-1. 烟气的有用能	190
12-2. 燃烧过程的温度区域	192
12-3. 發热的完全程度	195
12-4. 發热率曲线	197
12-5. 理論單位引力	199
12-6. 燃燒强度和烟气流的速度	200
12-7. 烟气流的速度和溫度	200
第十三章 混合作用是燃燒原理 的基础	203
13-1. 燃燒的动力原理	203
13-2. 燃燒的扩散原理	210
13-3. 燃燒的混合原理	215
13-4. 霧化了的液体燃料的燃燒	218
13-5. 气流断面上燃料的分佈	222
13-6. 可燃混合物的構成	229
第十四章 連續原理。燃燒固体燃料时的混合作用	232
14-1. 气体和液体燃料燃燒的連續方案	232
14-2. 固体燃料燃燒的連續方案	234
14-3. 燃燒过程初步分类的气体动力学基础	239
第十五章 層燒过程的混合作用	251
15-1. 層燒的連續方案: 相对、平行、相交及混合方案	251
15-2. 燃燒層气化的性質	259
15-3. 兩段燃燒方案	262
15-4. 一次、二次和三次空气	270
15-5. 燃燒中心的阶段	271
第十六章 火炬燃燒过程的混合作用	276
16-1. 混合作用的性質, 帶走現象	276
16-2. U-形和 L-形火炬的方案	280
16-3. 具有角式噴燃器及多行縫隙形噴燃器的方案	286
16-4. 具有豎井磨煤机式的方案	289
16-5. 二次混合作用	291

16-6. 固态除渣和液态除渣	298
第十七章 旋風燃燒过程的混合作用	303
17-1. 旋風燃燒法的發展	303
17-2. 循环旋風式爐	306
17-3. 旋風爐	309
17-4. 沸騰燃料層原理	315

第四篇 燃 燒

第十八章 爐子、噴燃器、燃燒室。气体和液体燃料 的燃燒	319
18-1. 量 and 質的特性	319
18-2. 噴燃器和燃燒室	320
18-3. 燃燒强度和容积热力强度	323
18-4. 燃燒室的区域	326
18-5. 压制空間內气流的流动	330
18-6. 能力型爐子中送入一次、二次和三次空气的方法	334
18-7. 热力型爐子中火炬燃燒过程的性質	338
第十九章 粉狀固体燃料的燃燒	340
19-1. 煤粉爐的一般特性	340
19-2. 溫度区域分配的性質；燃燒曲綫	345
19-3. 粉狀燃料燃燒機構的概念的發展	349
19-4. 碳粒的燃燒和气化的性質	356
19-5. 几个一般性的結論	360
第二十章 固体燃料在燃料層中的燃燒	363
20-1. 層燒爐的一般特性	363
20-2. 燃料層和燃燒室的工作	365
20-3. 鏈条爐排上燃料層的燃燒特性	363
20-4. 鏈条爐排上燃料層的燃燒方案	380
20-5. 其它相交供应方案中燃料層上气体分析的特性	386
20-6. 燃料層气化和燃燒的計算理論方案	390
第二十一章 火炬燃燒过程着火前沿稳定的方法	398
21-1. 动力火炬的点火区域	398
21-2. 扩散燃燒的稳定	402
21-3. 煤粉噴燃器着火的稳定	405
21-4. 最初可燃混合物的着火条件	408
21-5. 煤粉火炬的着火条件	414

21-6. 旋風爐中的着火方案	419
第二十二章 層燒过程中着火前沿稳定的方法	421
22-1. 相向方案着火前沿的稳定	421
22-2. 平行方案着火前沿的稳定	423
22-3. 鏈条爐排燃料層着火前沿的稳定	435
22-4. 阶梯式前爐	440
22-5. 使上部点火强化的方法	445
第二十三章 燃燒設備的燃燒强度	443
23-1. 爐子質量的气体动力系数	448
23-2. 气流的加热程度和爐子通道的收縮程度	451
23-3. 系統的总流动阻力	455
23-4. 燃燒强度的程度	457
23-5. 典型燃燒設備的平均比較特性	459
23-6. 層燒式爐子的总阻力	465
第二十四章 燃燒設備的热平衡	469
24-1. 燃燒設備的热平衡及效率	469
24-2. 化学的未完全燃燒損失	473
24-3. 机械的未完全燃燒損失	475
24-4. 熔渣的物理显热損失	479
24-5. 外部冷却損失	480
24-6. 爐子的直接放热	483
24-7. 計算实例	491
第二十五章 爐內結渣	498
25-1. 結渣的因素	498
25-2. 溫度特性	500
25-3. 粘性特性	503
25-4. 熔渣在燃燒室內的分离作用	510
25-5. 液态除渣的結渣区域	513
25-6. 固态除渣的結渣区域	515
25-7. 層燒爐中的結渣	520
第二十六章 燃燒設備机械化的原則	526
26-1. 供应燃燒設備的机械化問題	526
26-2. 成層燃燒的机械爐	533
26-3. 旋風爐	551
26-4. 火炬爐	563
参考文献	

(2) 輻射能——表現為從燃燒區域輻射到周圍較冷物體的能；

(3) 機械能——表現為煙氣流的動能。

以上每一種能都可以適當地有效利用：譬如利用輻射能來作照明或熱交換（燈或具有輻射受熱面的熱交換器）；利用熱能作熱交換（具有對流受熱面的熱交換器）；利用機械能來產生機械功（燃氣輪機，噴氣發動機的噴管）。

所以，煙氣的有效能可以用上述三種能量之和來代表它，而每種能又可以表示成佔燃料發熱量的若干份額

$$Q_{\text{ноллезн}} = Q_{\text{луч}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{теп}} \text{ [大卡/公斤]}, \quad (12-1)$$

燃燒過程的效率是發出能量的完全程度，它能表示出燃料燃燒的不完全情況

$$\varphi = \frac{Q_{\text{ноллезн}}}{K_T} = 1 - \frac{Q_{\text{недож}}}{K_T},$$

一般說來，應當把燃燒過程的效率和整個燃燒設備的效率區別開來。

若 1 公斤可燃混合物的發熱量等於：

$$H = \frac{K_T}{1 + \alpha_{\text{мех}}},$$

則在燃燒設備中借輻射熱交換作用傳出的那部分能量等於：

$$\mu = \frac{Q_{\text{луч}}}{H},$$

而煙氣流在爐子中的開始和最終平均速度等於 w_0 和 w_T ，當略去了某些數值很小的項目時，則能量的總平衡式可以用下列等式表示：

$$c_p t_0 + A \frac{w_0^2}{2g} + \varphi H = \mu H + c_p t_T + A \frac{w_T^2}{2g} \text{ [大卡/公斤]} \quad (12-2)$$

$$\text{或} \quad (\varphi - \mu) H = c_p (t_T - t_0) + A \frac{w_T^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{w_0}{w_T} \right)^2 \right]; \quad (12-2a)$$

当 $\frac{w_0}{w_p} < 1$ 时, 可近似地写成

$$(\varphi - \mu)H \approx c_p(t_T - t_0) + A \frac{w_p^2}{2g}. \quad (12-26)$$

当烟气流流过燃烧室时, 由於燃燒着的燃料把它加热, 虽然所产生的相对加速度很大, 但烟气流在燃烧设备本身中获得的动能却是很小的。因此, 對於热力爐子來說, 可以略去能量平衡式中表示动能的那一项, 即可应用下列的等式

$$(\varphi - \mu)H = c_p(t_T - t_0).$$

對於动力爐子來說, 能量平衡式中表示气流动能的那一项, 可能是一个很大的数值, 在这种情况下, 因为必須要加大燃燒强度, 由於烟道变窄了, 烟气流就格外加快了。在某些情况中, 如果希望烟气的焓能获得充分的利用, 可以采用拉伐尔噴管(сопла Лавля)把热能变成动能; 大家都知道, 拉伐尔噴管是由漸縮管(混流管)和漸扩管(扩散管)組成的, 漸縮管在气流流动低於音速的区域, 而漸扩管則在超音速区域^①。

12-2. 燃燒过程的温度区域

燃燒时發出热量的第一个“佔有者”是燃燒生成物, 它具有某一数值的平均比热 c_{ep} , 要是沒有热交換現象, 燃料生成物可以被加热到理論的最高温度 $t_{макс, макс}$ 。在此理論狀況下, 燃燒生成物的焓, 就等於可燃混合物的最大發热量($\alpha = 1$ 时):

$$H_{макс} = c_{ep} t_{макс, макс},$$

由此产生了關於理論最高温度的观念

$$t_{макс, макс} = \frac{H_{макс}}{c_{ep}} [^{\circ}\text{C}]. \quad (12-3)$$

在一些陈旧的手册中, 曾屢次提到理論最高温度, 当作是燃料的

① 气体的流动是依靠它的膨脹(密度减小)而变快的, 在漸縮管中, 流速低於音速, 在漸扩管中則为超音速。Л. А. 烏里斯曾經明确指出(文献1), 当作用於气流的条件保持适当时, 在圓筒形噴管内理論上也可以产生出超音速区域(“热力”噴管“机械”噴管和“重型”噴管等)。

重要特性之一，還給它一個很不恰當的名字——燃料的熱能力，或“熱生產率”。對於一些使用空氣的爐子，在它的計算項目中，所謂理論燃燒溫度這一名詞，却很流行，理論燃燒溫度就是當實際過剩空氣比較適中($\alpha \geq 1$)時，純熱狀況下的燃燒溫度，換句話說，即

$$t_{\text{max}} = \frac{H}{c_{cp}} = \frac{K_T}{(1 + \alpha \kappa_{\text{min}})} - [^{\circ}\text{C}]. \quad (12-4)$$

在實際的爐子中，由於不可能產生出進行燃燒過程的絕熱條件，則在進行燃燒時，往往會有某些放熱現象同時發生（有時是故意這樣做的），因此，實際上在爐子裡可以產生出的完全燃燒過程的平均溫度，就會小於其所相當的理論溫度^①

$$t_{\text{мон}} \approx (1 - \mu) t_{\text{max}},$$

式中 $(1 - \mu)$ ——發出的熱量中轉變成燃燒生成物的焓的那一份額；

μ ——放出熱量所佔的份額，主要決定於環繞着燃燒過程發生空間的比較冷的輻射受熱面的發展情況。

從化學工藝學的观点來看，任何燃燒設備都是一種反應器，其中保持着一定（平均）的進行燃燒過程的溫度水平，而這種反應器的生產率，則決定於單位時間內引到它裡面去的可燃混合物量，或從它裡面放出來的燃燒生成物量。

溫度水平對於燃燒過程進行的影響是很大的，因此就應當把下面三個主要的燃燒區域區別開來：

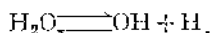
1. 低溫燃燒區域（對於使用空氣的普通爐子來說，大約可以發展到 $900-1000^{\circ}$ ）。在該區域中，即使混合方法是最完善的，照例仍然發現有顯著的燒不透現象，這種現象是當可燃混合物在燃燒設備內逗留時間有限時，反應進行得很慢所引起的。在燃燒生成物的成分中出現了未完全氧化的生成物（例如 CO ），未氧化的燃料分子（例如 H_2 ）和未曾起過作用的氧化劑分子（例如 O_2 ）。

① 參閱敘述得比較詳盡的第二十四章。

燃燒過程的溫度降低了，燒不透的現象就更加厲害。

2. 中溫燃燒區域(大約從 1000 到 1800—2000°)，在這一區域中，當混合作用充分完善時(已經制備好的引入爐子的可燃混合物，或者就在燃燒室內很激烈地構成的可燃混合物)，可以保證完全燃燒。在這種情況下，若燃料和氧化劑之間維持所需的比例($\alpha \geq 1$)則在高溫的影響下發展着的反應速度，甚至在反應物質在燃燒設備內逗留的時間受到實際情況的限制時，都能夠使燃燒過程進行到充分或完成的地步，即是進行到只能得出一些完全氧化了的生成物(CO_2 , H_2O 等等)。要是混合情況很完善，則只有在氧化劑顯著缺乏的時候($\alpha < 1$)，才可能在中溫區域內發生燒不透的現象。

3. 高溫燃燒區域(大約在 1800—2000° 以上)。在高溫區域中，由於有完全燃燒生成物分解的逆反應在加速進行，完全燃燒過程就變成不可能。燃燒生成物中出現了離解過的分子成分，表現為一些自由原子和自由基，例如根據下面的基本可逆反應



它向右進行是發熱的，向左進行則吸熱。反應進行時的溫度越高，自由原子和自由基(例如羟基 OH) 的存在就變得越穩定，在某一個極限溫度下，當離解作用所吸收的热量還未等於該可燃混合物的理論發热量即

$$Q_{\partial uc} = H[\text{大卡/公斤可燃混合物}]$$

或

$$K_{\partial uc} = K_T[\text{大卡/公斤燃料}].$$

以前，離解作用進行得越徹底，自由發热量的份額就變得越小。

在上述極限溫度時，該可燃混合物就會退化為只是一種產生热量的工質。

這樣一來，燃燒過程的兩個極端區域——低溫和高溫區域——的特征，都是燃燒不完全的，甚至在混合方法很完善的時候也是如此，但却是由不同的原因引起的：在低溫區域是正反應(燃燒反應)進行緩慢，而在高溫區域則是開展了逆反應(離解作用)，可燃混合物(或燃料)真正的完全燃燒，實際上只是在中溫區域內

才能办到；在中温区域内也可能出现不完全燃烧，但却不是受到温度因素的影响，而是由于缺乏氧化剂($\alpha < 1$)或者是由於爐子里的反应物质混合得不够激烈。

在任何一种热力型或能力型的机组中，爐子是一个这样的工作机构，在它里面能够产生出整个系统的最高温度。烟气离开了爐子，就进入到使它强烈冷却(由於热交换或烟气的膨胀)的区域中去。若燃烧过程是在中温或低温区域内进行的，而氧化剂的数量又足够的话，则在爐子外面还可以继续燃烧一些时候，随后渐渐停止了燃烧，最后仍然是不完全的，只不过稍稍减少了燃烧的不完全程度而已(燃烧的不完全程度说明爐子本身的工作情况)。在

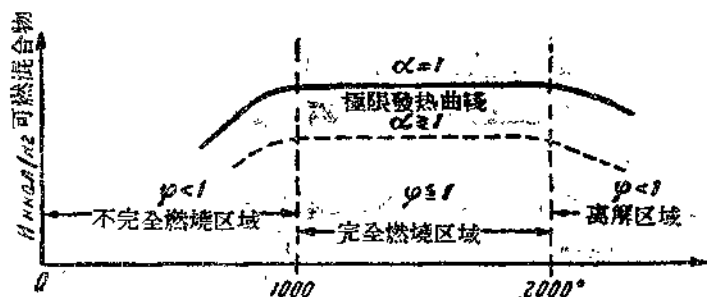


圖 12-1 完全和不完全燃燒的区域

爐子的高温状况下(能力型爐子都是高温的，尤其是那些採用特別活潑的氧化剂的爐子)，只是燃燒設備本身的工作才有不完全燃燒，因为在适中的温度下表現得不稳定的离解生成物，离开爐子后就重新結合为正常的分子，放出适当的热。但是，在能力爐子的通常情況下，这种爐外的热已不能全部利用，有时甚至利用一部分都不行。

上述三个温度区域用圖綫表示在圖 12-1 中。

12-3. 發热的完全程度

燃燒的完全程度决定於許多因素，在不同的燃燒区域内，这些因素多方面影响着燃燒的完全程度。其实，最好是把燃燒完全

系数表示为物理性质不同的两个系数相乘之积

$$\varphi = \varphi_{\text{нз}} \cdot \varphi_{\text{до}},$$

式中 $\varphi_{\text{до}} = \varphi(T, p)$ 是温度和压力的复杂函数;

$\varphi_{\text{нз}} = \varphi\left(\frac{\tau_{\text{нз}}}{\tau_{\text{раск}}}, \alpha\right)$ 是可燃混合物在反应区域内的逗留时间与反应进行时间之比及实际过剩空气(氧化剂)的函数, 它并不比上一函数简单些。

暂且撇开离解作用不说, 我们可以指出: 在低温燃烧区域的

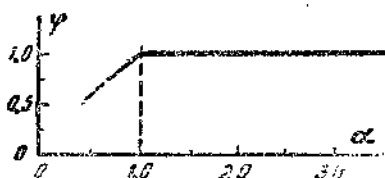


圖 12-2 各种过剩空气状况下的發热完全程度

末端和中温区域内, 燃烧完全系数可以近似地用图解表示为只是过剩空气的函数(圖 12-2), 而在 $\alpha \leq 1$ (接近于 $\alpha = 1$) 的区域内, 燃烧完全系数和过剩空气系数的数值实际上就合而为一($\varphi \approx \alpha$)。

於是, 在 $\alpha \geq 1$ 的区域内, 一公斤可燃混合物的發热率仍然等於:

$$Q_1 = H = \frac{K_T}{1 + \alpha z_{\text{нз}}},$$

而在 $\alpha \leq 1$ 的区域中, 則等於(在任一情况下都接近 $\alpha = 1$):

$$\begin{aligned} Q_1 = \varphi H &= \frac{\varphi K_T}{1 + \alpha z_{\text{нз}}} \approx \frac{\alpha K_T}{1 + \alpha z_{\text{нз}}} \\ &= \frac{K_T}{\frac{1}{\alpha} + z_{\text{нз}}}. \end{aligned} \quad (12-5)$$

因此, 函数 $Q = Q(\alpha)$ 可以用两条相交的双曲线表示(圖 12-3)而 $\alpha = 1$ 时的函数值, 可以認為是發热曲线的“特殊点”。从發热曲线的軌迹可以看出: 不管 α 较其等於 1 时是减小或是增加, 都使得 1 公斤可燃混合物的發热率相应地降低。这种情况在圖 12-1 上相当於那一条虚线曲线。

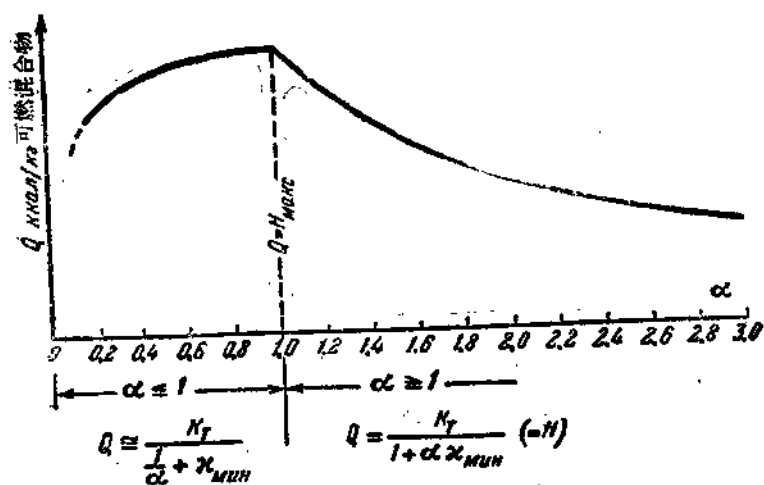


圖 12-3 可燃混合物的發熱率

12-4. 發熱率曲線

因為燃燒過程的平均溫度是和發熱率成比例的，則溫度曲線 $t=t(\alpha)$ 的性質和 $Q=Q(\alpha)$ 曲線相同。在 $\alpha \leq 1$ 而又接近 $\alpha=1$ 的區域內，曲線的軌跡是傾斜的，這是因為當過剩空氣減少時，由於缺乏氧化劑，所以發熱量和參與燃燒的物質都同時減少了。在氧化劑非常缺乏的區域內，發熱率已經急劇降低，因而溫度也急劇降低。因此，在進行燃燒過程的這種區域裡面，正如上面所說，燒不透現象將不僅僅是因缺乏氧化劑，氧化過程的溫度急劇降低，也會引起燒不透的現象。所以，完全可以意料到，在氧化劑非常缺乏的區域內，發熱率曲線的真正軌跡，比圖 12-3 所示的實線曲線來得低些，來得陡些。在過剩空氣很多的區域內也是一樣。在後一區域中，發熱率曲線突然下降（與 $\alpha \leq 1$ 的區域相比較），燃燒溫度因而也突然下降，因此，氧化過程進行的速度也變慢了。也完全可以意料到，在工業上應用的實際燃燒過程中，真正的發熱率將比圖 12-3 所示的實際曲線還要低些。在 $\alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 區域內發熱率曲線的典型軌跡用點劃線表示在圖 12-4, a 上。

在上述情况中，当發热率很大时(可燃混合物的 H_{max} 值很大，对外部介質的放热較适中时)，燃燒过程可能轉入燃燒生成物的离解作用很显著的高温燃燒区域。發热率的实际曲綫要比它的極限曲綫低些，在温度(發热率)降低的区域内却趋近於極限曲綫，温度降低是氧化剂或燃料非常缺乏所引起的，这种情况可以

用点划綫大略表示在圖 12-4, 6 上，曲綫的左翼表示氧化剂非常缺乏，而右翼則是燃料非常缺乏，这两条曲綫在末端处互相接近，是因为离解作用随燃燒过程轉入温度比較适中的区域而減輕了的緣故。

上述情形指出，使技术人员特別感感兴趣的所謂完全燃燒区域，無論在进行燃燒过程的温度水平方面或是在过剩氧化剂方面都是非常有限的；在該区域中，可燃混合物的發热能够达到最大(或充分利用燃料的發热量)。如果說的是用空气来供燃燒的普通热力爐子，則技术人

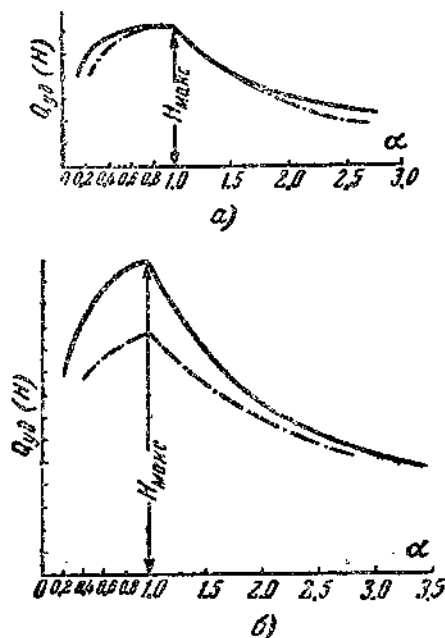


圖 12-4 过剩氧化剂变动时的發热率

a—中温燃燒区域(發热率适中)；

б—高温燃燒区域(發热率較高)。

員企圖使燃料达到充分燒透是完全可能的。在这种情况下，应当設法使燃燒过程在过剩空气最适中的状况下进行，即是始終保持 $\alpha \geq 1$ 。在具有連續而稳定(假固定)的燃燒过程的动力爐子中，尽管它的作用原理和普通的热力燃燒設備沒有多大区别，但在热負荷(强度)很大的状况下运行时，其他一些因素就变得重要了。供应噴射嘴的爐子，当燃料和氧化剂的比例一定时，在 $\alpha \leq 1$ 的范

附內能够产生出最大的能力效应。气力和喷射(使用液态氧化剂)發动机也是一样。而在使用液态氧化剂时,可以同样提出关于燃料完全燃燒($\alpha \geq 1$)和氧化剂完全“燃燒”($\alpha \leq 1$)的适合性問題。

12-5. 理論單位引力

对于动力爐子来说,任何一种可燃混合物的潜在能力,最好是不要用可能發生的最高(理論)温度 $t_{\text{макс, макс}}$ 去表示它, 而用理論單位引力(單位反作用力)去表示。

反作用力 $R_{\text{макс}}$ [公斤]称为絕對理論引力, 它等於每秒鐘的質量 M (公斤·秒/公尺)与气态燃燒生成物的理論流速 $w_{\text{макс}}$ [公尺/秒]相乘之积

$$R_{\text{макс}} = M w_{\text{макс}} = \frac{G}{g} w_{\text{макс}} \text{ [公斤]}, \quad (12-6)$$

式中 G ——可燃混合物每秒鐘的消耗量, 公斤/秒;

g ——重力加速度, 公尺/秒²。

一公斤燃燒过的可燃混合物的絕對理論引力, 称为理論單位引力

$$R_{\text{макс, уд}} = \frac{R_{\text{макс}}}{G} = \frac{w_{\text{макс}}}{g} \text{ [公斤·秒/公斤]}.$$

理論流速与最大發热量有关, 其关系为下面的热力学式子

$$w_{\text{макс}} = 91.5 \sqrt{H_{\text{макс}}}. \quad (12-7)$$

由此, 理論單位引力就完全决定於可燃混合物的一个重要特性——它的最大發热量 $H_{\text{макс}}$:

$$R_{\text{макс, уд}} = \frac{91.5}{9.81} \sqrt{H_{\text{макс}}} = 9.33 \sqrt{H_{\text{макс}}}. \quad (12-8)$$

發动机所能产生的实际引力, 將随發热完全程度(φ)和發动机的优良質量而相应减小, 發动机質量可以用一个系数 $\xi \leq 1$ 来概括, 則

$$R_{\text{уд}} = 9.33 \xi \sqrt{\varphi H_{\text{макс}}} \text{ [公斤·秒/公斤]}. \quad (12-9)$$

12-6. 燃燒強度和煙氣流的速度

本書中引用了像煙氣流的速度這樣一個重要概念，應當着重指出，用煙氣流的速度來表明燃燒設備的工作，在各方面都不比用燃燒過程在爐子中產生的溫度來得差些。

首先，在一定的燃燒室大小和一定的可燃混合物質量下，燃燒生成物氣流的速度是直接和爐子的生產率有關的（即和爐子的供應能力有關）。

若燃燒室的橫斷面積為 F [公尺²]，冷的气态燃燒生成物的重度為 γ_0 [公斤/公尺³]，絕對壓力為 P [公斤/公尺²]，平均絕對溫度為 T [°K]，則爐子的單位熱負荷（燃燒強度），可以用下面的式子表示：

$$\begin{aligned}\frac{Q}{F} &= F w \gamma_0 \frac{P}{T} H \cdot \frac{273 \times 3600}{10333} \cdot \frac{1}{F} \text{ [大卡/公尺}^2 \cdot \text{時]} \\ &= 95 w \gamma_0 \frac{P}{T} H \text{ [大卡/公尺}^2 \cdot \text{時]},\end{aligned}\quad (12-10)$$

式中，仍然是 $H = H_{max} \psi$ [大卡/公斤]，並且當 $\alpha = \psi = 1$ 時，則 $H = H_{max}$ 。

$$\text{數值 } w \frac{273 \cdot P}{T \times 10333} \gamma_0 = w \gamma_{p, T} \text{ [公斤/公尺}^2 \cdot \text{秒]}$$

是氣流的“重量”流速。從上面的式子不難看出，當燃燒進行的溫度為 T (°K) 時，若燃燒生成物是氣態物質，則爐子的燃燒強度將隨壓力的提高和流過燃燒室的氣流速度的增加而加強。

當爐子的尺寸一定時，煙氣流的速度可以決定可燃混合物在燃燒室內的逗留時間，逗留時間應當和可燃混合物的燃燒時間保持一定的關係，要想達到完全燃燒，就應滿足下述條件：

$$\tau_{np} \delta \geq \tau_{clor} \text{ [秒]},$$

12-7. 煙氣流的速度和溫度

這兩個重要特性——煙氣流的速度和溫度——之間的關係，

用热能平衡式是很容易确定的。設可燃混合物的原始温度及其原始速度(当进入燃燒室时)都等於零,則在理論上的完全燃燒时($\varphi=1$)得:

$$H = ct + \frac{w^2}{2g} A$$

用可燃混合物的比热去除上式,則

$$t_{\text{морн}} = t_{\text{max}} = \frac{H}{c} = t + \Delta t = t + \frac{Aw^2}{2gc} \approx t + \frac{w^2}{2000} [^{\circ}\text{C}]. \quad (12-11)$$

数值 $t_{\text{морн}}$ 和燃燒过程的“热力”(或“静力”)温度不同,它是一个“全温度”,或者正如一般的叫法一样,它是一个“掣动温度”。这种温度的意义与机械能平衡式(柏努利方程式)得出的“全压力”或掣动压力

$$P_{\text{морн}} = P_{\text{стат}} + \frac{w^2}{2g} \gamma$$

的意义是相类似的。

由公式(12-11)可以看出,只有当 $w=0$,即气流静止时,掣动温度才会等於热力温度。但动力附增項 Δt ,只是在气流的速度很大、接近於音速的时候才重要。例如

$$\text{当 } w=10 \text{ 公尺/秒时, } \Delta t=0.05^{\circ}\text{C}$$

$$\text{当 } w=100 \text{ 公尺/秒时, } \Delta t=5.0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{当 } w=350 \text{ 公尺/秒时, } \Delta t=60.0^{\circ}\text{C}$$

在燃燒最强的近代能力燃燒設備的燃燒室中,特别是在热力爐子的燃燒室里面,热力温度和掣动温度实际上是一样的。当分析近代气体动力学,高速狀況下的热交換現象的許多問題时,如需量度高速气流等^①的温度,則应用了掣动温度的概念就具有特别重大的意义。

① 应当注意:把热电偶放到气流里面,气流在热电偶的表面上就会受到阻碍,热电偶量出的温度,並不是热力温度,而是一个很接近或甚至等於掣动温度的温度(文献2,3,4等)。